



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20180453

构木、杨木混合漂白化学机械浆制浆的特性及废液性质

赵冠廷, 侯庆喜, 刘 菁, 杨 顺, 顾重喜, 吴小双
(天津市制浆造纸重点实验室, 天津科技大学轻工科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 采用构木与杨木为原料进行漂白化学机械浆(BCMP)制浆. 分析了不同构木替代比例下, 所得浆料、溶解与胶体物质(DCS)水样的性能变化. 结果表明, 随着构木替代比例的提高, 所得浆料的松厚度、白度有所下降, 但抗张强度上升; 浆料纤维的重均长度与重均宽度均减小, 而纤维粗度增大; DCS水样的固含量、电导率、阳离子需求量、COD也有所上升. 所得浆料可适于抄造对白度和松厚度要求不太高的纸种.

关键词: 杨木; 构木; BCMP; 溶解及胶体物质

中图分类号: TS74 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2020)03-0027-06

Characteristics of BCMP Pulping with *Broussonetia papyrifera* and Poplar Woodchips and Properties of Waste Liquid

ZHAO Guanting, HOU Qingxi, LIU Wei, YANG Shun, GU Chongxi, WU Xiaoshuang
(Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, College of Light Industry Science and Engineering,
Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: *Broussonetia papyrifera* and poplar were used as mixed raw materials to make bleached chemi-mechanical pulp (BCMP). The physical properties of BCMP obtained at different substitution percentages of *Broussonetia papyrifera* for poplar were determined, and the dissolved and colloidal substances (DCS) in pulping effluent were measured. The results showed that the bulk and brightness of the BCMP decreased with the increase of substitution percentage of *Broussonetia papyrifera* for poplar, while the tensile strength was increased. The weight-average fiber length and weight-average width were decreased, the fiber coarseness increased, and the solid content, conductivity, cationic demand and COD in pulping effluent increased with the increase of substitution of *Broussonetia papyrifera* in the raw materials. This BCMP is suitable for making some paper without high demand for brightness and bulk.

Key words: poplar; *Broussonetia papyrifera*; BCMP; dissolved and colloidal substances

构树又称褚树, 是一种落叶乔木, 在我国分布较广. 构树具有生长快、适应性强等特点, 在一些贫瘠、干旱、盐碱的土地上均能生长, 常用作一些受污染地区的生态修复树种^[1-2]. 除了具有生态建设方面的价值, 构树在造纸方面也占有一席之地. 实际上, 早在造纸术发明时, 构树皮就被用于造纸. 至今, 在云南等少数民族地区还在用构树皮生产传统手工纸^[3]. 相关研究^[4]表明, 构树皮木素含量低, 纤维长、色泽白、强度大, 常用于制造电池隔膜纸、云母带原纸等高档长纤维特种纸. 虽然构树皮是一种优良的造纸原料,

但占比较大的木质部却很少用于造纸. 若能将构树的木质部用于造纸, 可在一定程度上解决当前我国造纸工业所面临的木材资源短缺难题.

牛敏等^[5]对构树木质部化学组分、纤维形态研究后发现: 其综纤维素含量可达 82.09%, Kalsol 木素含量为 18.57%, 聚戊糖含量为 29.62%; 纤维细胞的长宽比为 51.3, 纤维长度为 0.86 mm, 壁腔比为 0.37. 何连芳等^[6]对不同树龄杂交构树的纤维特性及制浆特性进行研究, 结果表明不同树龄杂交构树木质部纤维形态差别较小, 化学组成与一般的阔叶木(杨

收稿日期: 2018-11-26; 修回日期: 2019-02-22

作者简介: 赵冠廷(1991—), 男, 浙江江山人, 硕士研究生; 通信作者: 侯庆喜, 教授, qingxihou@tust.edu.cn

木)较为相似;不同树龄杂交构树的 APMP 浆(碱性过氧化氢机械浆)物理性能差别较小. 总体而言, 构树木质部具有相当大的造纸利用价值.

近几年来, 由于环境保护和资源等方面的压力, 化机浆产能在我国增长迅猛, 对木材原料的需求急剧上升. 然而, 我国的木材资源十分匮乏, 很难满足化机浆的大规模生产. 与杨木相比, 虽然构木存在密度大、色泽深等缺陷, 但在木材资源短缺的情况下, 仍可发挥自身数量和价格上的优势. 目前, 国内已有化机浆生产企业尝试使用杨木与构木的混合木片来进行温和化学预处理加盘磨化学处理的碱性过氧化氢机械浆(P-RC APMP)浆的生产.

在化机浆的制浆与漂白过程中会产生大量溶解的半纤维素、聚半乳糖醛酸、低相对分子质量木素、果胶类物质以及大量分散在浆水体系中的亲脂性胶体物质, 这些物质被称为溶解与胶体物质(dissolved and colloidal substances, DCS)^[7-8], 其中溶解物质(dissolved substances, DS)主要包含半纤维素、果胶、木素、木素衍生物等物质^[9-10]. 据有关研究^[11], 化机浆的制浆与漂白过程中 DCS 的产生量可达 30 ~ 70 kg/t(相对于纸浆). DCS 存在于浆水体系中, 随着白水封闭循环 DCS 会不断累积, 对湿部操作、产品质量带来诸多不利影响^[12]. 因此, 有必要对构木与杨木混合木片漂白化学机械浆制浆漂白过程中 DCS 的溶出规律及性质进行研究, 为实际生产提供依据.

本文通过模拟我国工厂常用的二段预浸渍与二段磨浆的 P-RC APMP 工艺并采用已经优化的工艺参数, 探讨不同构木配比下, 所得浆料的各项物理性能; 同时, 对高浓停留段漂白后 DCS 的理化性质进行初步研究, 从而为工业生产提供参考.

1 材料与方法

1.1 原料、主要试剂与仪器

实验用杨木木片与构木木片取自国内某制浆厂, 其化学组分见表 1.

表 1 杨木与构木的化学组分

Tab. 1 Chemical compositions of poplar and *Broussonetia papyrifera*

原料	灰分/%	苯醇抽出物/%	综纤维素/%
杨木	0.45	1.38	80.28
构木	0.82	1.60	79.97
原料	酸不溶木素/%	酸溶木素/%	聚戊糖/%
杨木	22.60	3.25	22.97
构木	21.96	2.51	25.93

NaOH, 分析纯, 天津市江天化工技术有限公司; Na₂SiO₃, 分析纯, 天津市大茂化学试剂厂; DTPA、H₂O₂, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; COD 消解液, 分析纯, 哈希水质分析仪器(上海)有限公司.

3 L 蒸煮锅, 陕西科技大学机械制造有限公司; BR30-300CB 型高浓磨浆机, 日本 KumagaiRiki Kogyo 公司; JS30 型挤压疏解机, 中国安丘汶瑞机械制造有限公司; RK3 A-KWT 型标准纸页成型器, 奥地利 PTI 公司; 800-1 型循环热疏解器, 加拿大 Labtech 公司; FE20 型 pH 计和电导率仪, 瑞士梅特勒-托利多公司; 03 型 PCD 颗粒电荷测定仪, 德国 BTG 公司; SE 070 A 型分光光度仪, 瑞典 L&W 公司.

1.2 实验工艺流程及技术条件

本实验采用的工艺流程^[13-14]如图 1 所示.

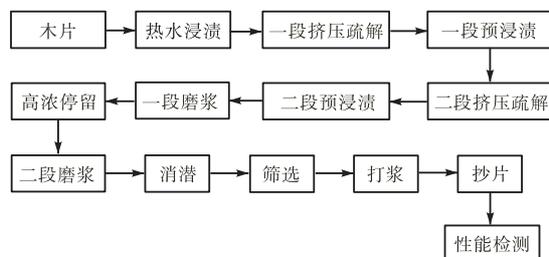


图 1 实验室漂白化学机械浆工艺流程

Fig. 1 Flowchart of the laboratory BCMP process

1.2.1 热水浸渍、一段挤压疏解、一段化学预浸渍与二段挤压疏解

将一定量的木片(按绝干质量)装入 3 L 蒸煮锅中, 在蒸煮锅中以 90 °C 的热水浸渍(代替预汽蒸)30 min, 以使木片升温及排除内部空气. 热水浸渍后的木片在 JS30 型挤压疏解机中疏解, 螺旋压缩比为 4 : 1. 挤压后的木丝装入蒸煮锅中进行一段化学预浸渍, 浸渍浓度 15%, DTPA 用量 0.04% (相对于绝干木片), 温度 80 °C, 时间 30 min. 一段化学预浸渍后的木丝进行二段挤压疏解, 螺旋压缩比为 4 : 1.

1.2.2 二段化学预浸渍与一段磨浆

二段挤压疏解后的木丝装入 3 L 蒸煮锅中模拟二段化学预浸渍, 二段预浸渍所加入的化学药品为(以绝干木片计): NaOH 2.3%、Na₂SiO₃ 1.2%、H₂O₂ 1.9%、DTPA 0.04%. 该过程以纤维的润胀及溶出树脂和有色物质为主, 因此碱的用量相对较大. 其中浸渍浓度 15%, 温度 90 °C, 时间 40 min. 化学药品的加入方式如下: 先加 DTPA、Na₂SiO₃, 与原料混合均匀且温度升至 90 °C 时, 迅速加入 NaOH 和 H₂O₂, 并开始计时.

二段化学预浸渍后在 KRK 磨浆机中进行一段高浓磨浆,磨浆间隙 0.25 mm,磨浆浓度 30%。

1.2.3 高浓停留与二段磨浆

一段磨浆后的浆料在恒温水浴锅中模拟高浓停留处理,高浓停留段所加入的化学药品为(以绝干木片计): NaOH 1.9%、Na₂SiO₃ 1.2%、H₂O₂ 2.3%、DTPA 0.04%。该过程以提高纸浆白度为主,因此漂白剂的用量相对较大。其中浆浓为 15%,温度 90℃,时间 100 min。化学药品添加方式同 1.2.2 节。

高浓停留处理后在 KRK 高浓磨浆机中进行二段磨浆,磨浆间隙 0.15 mm,磨浆浓度 15%。

1.2.4 磨后浆料处理

二段磨浆后的浆料在 95℃、浓度 4% 条件下用循环热疏解器消潜 40 min。用筛浆机(缝宽 0.15 mm)进行筛选,筛选完成后脱水并充分揉搓,最后装入自封袋中备用。

1.3 浆料物理性能

1.3.1 纤维形态的测定

取构木配比分别为 0、20%、40% 且已打浆至打浆度为 (45 ± 2)°SR 的浆料 1 g(绝干浆),采用瑞典 L&W 公司的 912 型纤维形态分析仪测定浆料纤维的重均长度、重均宽度及纤维粗度。

1.3.2 手抄片的抄造及物理性能的测定

筛选后的浆料以 10% 的浆浓用 PFI 磨按照标准 QB/T 1463—2010《纸浆实验室打浆 PFI 磨法》打浆至 (45 ± 2)°SR,再用标准疏解机疏解 15 000 转,最后采用标准纸页成形器(滤网为 180 目,抄片过程中开启白水循环功能,确保细小组分的留着)抄造手抄片。手抄片的抄造以及浆料强度性能和光学性能的检测分别依据 GB/T 24324—2009《纸浆·物理试验用实验室纸页的制备·常规纸页成型器法》、GB/T 24323—2009《纸浆·实验室纸页·物理性能的测定》、GB/T 7974—2002《纸、纸板和纸浆亮度(白度)的测定·漫射/垂直法》和 GB/T 10339—2007《纸、纸板和纸浆的光散射和光吸收系数的测定》。

1.4 DCS 和 DS 水样的制备及各项理化性能的检测

1.4.1 高浓停留处理后的 DCS 和 DS 水样的制备

取 20 g(绝干计)一段磨浆后的浆料,在恒温水浴锅中经高浓停留处理,处理后的浆料不经洗涤,直接用蒸馏水稀释至 20 g/L 即 2% 的浆浓。调节稀释后悬浮液的温度至 60℃,在该温度下用搅拌器以 150 r/min 的转速搅拌 1 h,然后将悬浮液以 2 000 r/min 的转速离心 30 min,离心后静置,最后小心取上层清液即为 DCS 水样,将 DCS 水样用

0.22 μm 水性微孔膜真空抽滤即得 DS 水样。

1.4.2 DCS 和 DS 水样固体含量的测定

分别取 50 mL DCS 与 DS 水样于已烘干至质量恒定且已知的称量瓶中,在 (105 ± 2)℃ 的烘箱中烘干至质量恒定,称量称量瓶的质量,即可得出固形物的质量,计算其固形物含量。

1.4.3 DCS 和 DS 水样电导率的测定

将新制的 DCS 水样温度调至 25℃,用质量分数 10% 的稀 H₂SO₄ 调节 pH 为 7.0 ± 0.1,用电导率仪测定不同构木替代比例下 DCS 及 DS 水样的电导率。

1.4.4 DCS 和 DS 水样阳离子需求量的测定

分别取 1 mL 已调节 pH 为 6.8 ± 0.1 的 DCS 和 DS 水样和 9 mL 超纯水至电荷测定仪测量槽中,用浓度为 0.1 mmol/L 的聚二烯丙基二甲基氯化铵 (PDADMAC) 溶液进行滴定,阳离子需求量按式(1)进行计算。

$$c_2 = \frac{c_1 V_1}{V_2} \quad (1)$$

式中: c_1 为 PDADMAC 的浓度, mmol/L; V_1 为消耗 PDADMAC 的体积, L; c_2 为阳离子需求量, mmol/L; V_2 为加入测量槽中待测样品的体积, L。

1.4.5 DCS 和 DS 水样 COD 的测定

COD 的测定参照哈希 USEPA 消解比色法。先打开 DRB200 反应器预先加热到 150℃,用移液管吸取 2 mL 的 DCS 或 DS 水样加入装有消解液的 COD 消解反应小瓶中(空白样用 2 mL 去离子水代替),拧紧小瓶盖,用水清洗小瓶并用洁净的纸巾擦干,轻轻晃动几次以进行混合。最后将小瓶放入已预先加热的 DRB200 反应器中,盖上保护盖,加热 2 h。消解反应完成后,待温度降至 120℃,将小瓶轻轻晃动几次后置于试管架上,待其冷却至室温时,放入 DR1010 型 COD 仪中选择合适量程测定其 COD。

2 结果与讨论

2.1 构木替代比例对纸浆纤维形态的影响

不同构木替代比例下所得浆料的纤维形态分析结果见表 2。从表 2 中可以看出:随着构木配比的提高,所得纸浆纤维的重均长度与重均宽度均减小,而纤维粗度不断增大。从材质上看:杨木材质疏松,纤维素与半纤维素含量较高,而木素含量较低,是十分理想的造纸原料,其木素主要集中在中间层,在细胞壁内含量较低,制浆时木素更容易脱除,纤维的润胀能力好,在碱的作用下其柔韧性与适应性能得到大幅

提高^[15];而构木密度较大,材质较为紧密,挤压疏解后无法像杨木那样被挤压成疏松的木丝,导致一段与二段化学浸渍过程中化学药品的渗透受到影响,纤维的润胀程度及脱木素程度减弱,纤维变得挺硬发脆,不够柔软可塑。因此,加入构木的原料在磨浆处理时纤维更容易被切断和磨碎,导致细小纤维含量增加^[16]。另外,添加构木后所得浆料纤维的粗度增大。

表 2 构木配比对纤维形态的影响

Tab.2 Effect of different proportions of *Broussonetia papyrifera* on fiber morphology

构木配比/%	重均长度/mm	重均宽度/ μm	纤维粗度/(mg/100 m)
0	0.550	31.9	12.68
20	0.533	30.6	13.31
40	0.513	28.2	14.54

注:用于纤维形态分析的纸浆打浆度均为 $(45 \pm 2)^\circ\text{SR}$ 。

2.2 构木替代比例对纸浆抗张指数与松厚度的影响

不同构木替代比例下纸浆的抗张指数与松厚度如图 2 所示。从图 2 中可以看出:随着构木替代比例的提高,纸浆的抗张指数从 $21.20 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$ 逐渐提高到 $26.35 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{g}$,松厚度从 $2.83 \text{ cm}^3/\text{g}$ 逐渐下降到 $2.32 \text{ cm}^3/\text{g}$ 。根据 Page 理论,纸页是由纤维随机组成的一种网络结构,其强度与纤维本身的强度和纤维之间的结合性能有关,而纤维的结合强度与纤维之间的剪切结合强度及结合面积有关^[17-18]。一般来讲,在一定范围内,尺寸更小的纤维在相同区域内相互结合的次数更多,相互结合的面积也更大,且尺寸较小的纤维可以填充在尺寸较大纤维的空隙中,使纸张结构更为紧密,相关强度也更大。因此,随着构木替代比例的提高,磨浆后所得纸浆细小纤维含量有所增多,纤维的结合变得更加紧密,从而使纸张的强度提高,同时由于纸页结构变得紧密,松厚度减小。

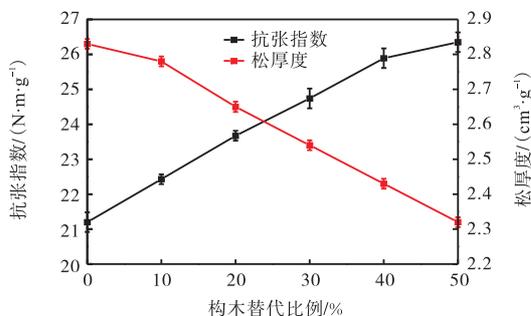


图 2 不同构木替代比例下纸浆的抗张指数与松厚度

Fig.2 Tensile index and bulk of the pulp at different proportions of *Broussonetia papyrifera*

2.3 构木替代比例对纸浆光学性能的影响

不同构木替代比例下浆料的光学性能见表 3。由

表 3 可知:随着构木替代比例的不不断提高,所得纸浆 ISO 白度从 73.8 % 下降到 70.1 %。生产实践表明:原料对化机浆的过氧化氢漂白影响较大,例如用杨木、桦木生产的化机浆比较容易漂白,而用桉木、马尾松生产的化机浆的漂白较为困难。从构木配比越高,所得纸浆白度越小的结果可以推断,构木的可漂性不如杨木,这与相关研究结果^[19]是一致的。随着构木替代比例的提高,纸张中纤维的结合变得紧密,削弱了光线进入纸张后的散射作用,因此光散射系数减小,不透明度也随之减小。由于纸浆颜色变深,吸光度增加,因此光吸收系数增大。

表 3 不同构木替代比例下浆料的光学性能

Tab.3 Optical properties of the pulp at different proportions of *Broussonetia papyrifera*

构木配比/%	ISO 白度/%	不透明度/%	光散射系数/($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)	光吸收系数/($\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$)
0	73.8	88.3	49.6	0.16
10	73.1	87.5	49.2	0.21
20	72.6	86.3	48.3	0.25
30	71.5	85.2	47.6	0.29
40	70.9	84.4	46.5	0.33
50	70.1	83.6	45.4	0.36

2.4 构木替代比例对 DCS 和 DS 水样固含量的影响

不同构木替代比例下 DCS 与 DS 水样的固含量如图 3 所示。由图 3 可知:随着构木配比的提高,DCS 及 DS 水样的固含量逐渐上升。其中,DCS 水样的固含量从 $1.38 \text{ g}/\text{L}$ (相对于浆为 $69 \text{ mg}/\text{g}$) 上升到 $1.69 \text{ g}/\text{L}$ (相对于浆为 $84.5 \text{ mg}/\text{g}$),DS 水样的固含量从 $1.30 \text{ g}/\text{L}$ (相对于浆为 $65 \text{ mg}/\text{g}$) 上升到 $1.66 \text{ g}/\text{L}$ (相对于浆为 $83 \text{ mg}/\text{g}$)。相关研究^[20]显示:碱性过氧化氢漂白产生的 DCS 主要包含氧化木素、树脂酸类、脂肪酸类、聚半乳糖醛酸类物质。在漂白过程中,在碱的作用下,木材中的纤维素与半纤维素、树脂酸、果胶发生降解,并且在较为剧烈的机械处理作用下,原料中部分抽出物(如树脂酸和脂肪酸)也会分散进入水相中;过氧化氢分解释放出的 HOO^- (过氧氢根离子)与木素的发色基团发生反应,生成带有酸式结构的氧化木素大分子及一些木素衍生物并溶出。根据 2.1 节中所述,构木的加入使磨浆后浆料中细小纤维的含量增加,因此在高浓停留段的漂白过程中,有利于药液的渗透,碱对碳水化合物、树脂酸、脂肪酸等物质及过氧化氢对木素的作用增强,加上构木本身含有较多的抽出物^[21],使漂白过程中碱性溶出物和氧化木素的溶出量增加。因此,随着构木替代比例的提高,DCS 水样和 DS 水样的固含量也随之增多。另

外,从图 3 还发现,DS 是 DCS 水样的主要组成部分,表明 CS 的含量很少。

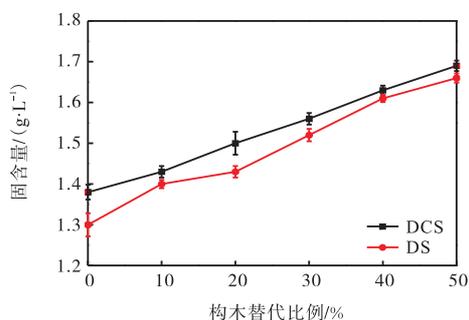


图 3 不同构木替代比例下 DCS 与 DS 水样的固含量
Fig. 3 Solid content of DCS and DS in the tested water at different proportions of *Broussonetia papyrifera*

2.5 构木替代比例对 DCS 和 DS 水样电导率的影响

DCS 与 DS 水样的电导率如图 4 所示. 从图 4 中可以看出,随着构木替代比例的不断升高,DCS 水样的电导率从 627 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 提高到 942 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DS 水样的电导率从 598 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 提高到 894 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 同样,DS 是 DCS 水样电荷的主要提供者,这与相关的研究结果^[9,22]是一致的. 在碱性过氧化氢漂白中,钠离子是漂白废液电导率贡献的主要无机离子,而氧化木素与果胶酸(聚半乳糖醛酸)及树脂酸等则是漂白废液电导率贡献的主要有机物. 钠离子带正电,有机物带负电,理论上能相互中和,但由于钠离子为低价金属离子,对这些负电荷的中和能力十分有限. 因此,随着构木替代比例的不断升高,漂白过程中氧化木素与聚半乳糖醛酸、树脂酸、脂肪酸等负电性物质溶出稍有增加,废液的电导率就能明显上升.

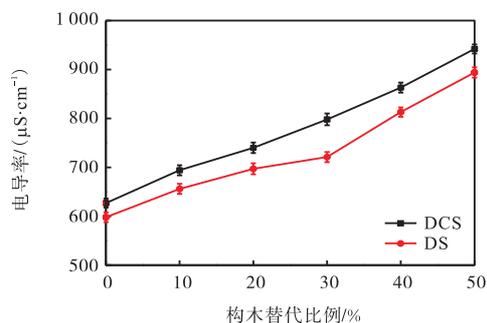


图 4 不同构木替代比例下 DCS 与 DS 水样的电导率
Fig. 4 Conductivity of DCS and DS in the tested water at different proportions of *Broussonetia papyrifera*

2.6 构木替代比例对 DCS 和 DS 水样阳离子需求量的影响

不同构木替代比例下 DCS 与 DS 水样的阳离子需求量如图 5 所示. 由图 5 可知:DCS 水样与 DS 水

样的阳离子需求量随着构木替代比例的提高而不断上升. 其中,DCS 水样的阳离子需求量从 0.118 mmol/L(相对于浆为 5.9 $\mu\text{mol}/\text{g}$) 上升至 0.190 mmol/L(相对于浆为 9.5 $\mu\text{mol}/\text{g}$), DS 水样的阳离子需求量从 0.102 mmol/L(相对于浆为 5.1 $\mu\text{mol}/\text{g}$) 上升至 0.159 mmol/L(相对于浆为 8.0 $\mu\text{mol}/\text{g}$). 同样,DS 也是阳离子需求量的主要贡献者.

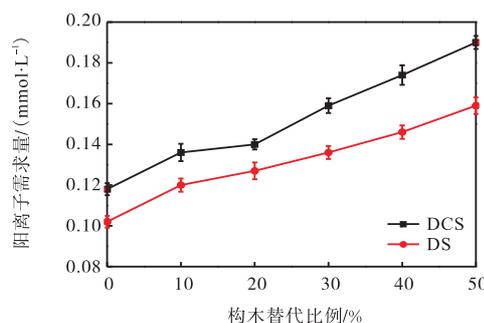


图 5 不同构木替代比例下 DCS 与 DS 水样的阳离子需求量
Fig. 5 Cationic demand of DCS and DS in the tested water at different proportions of *Broussonetia papyrifera*

阳离子需求量表明了废液中阴离子垃圾的含量,这些负电性较强的物质会对湿部操作带来许多不利影响. 据有关研究^[16],漂白过程中产生的阴离子垃圾主要由聚半乳糖醛酸、氧化木素、树脂酸、脂肪酸组成. 其中,聚半乳糖醛酸对废液阳离子需求量的贡献最大. 随着构木替代比例的提高,在相同的漂白条件下会有更多的氧化木素、树脂酸等阴离子物质溶出,造成废液阳离子需求量上升. 这也意味着实际生产中需严格控制构木的加入量或加强阴离子垃圾的检测与去除.

2.7 构木替代比例对 DCS 和 DS 水样 COD 的影响

不同构木替代比例下 DCS 与 DS 水样的 COD 如图 6 所示. 由图 6 可知:随着构木配比的提高,DCS 水样 COD 从 1410 mg/L(相对于浆为 70.5 mg/g) 上升至 1640 mg/L(相对于浆为 82 mg/g),与未添加构木时相比,加入 50% 构木的 DCS 水样 COD 提高了 230 mg/L(相对于浆为 11.5 mg/g); DS 水样 COD 从 1400 mg/L(相对于浆为 70 mg/g) 上升至 1610 mg/L(相对于浆为 80.5 mg/g)

在碱性过氧化氢漂白过程中,碳水化合物、木素、树脂及其他有机质的降解与溶出是导致废液 COD 的主要原因. 由于构木的加入使磨浆后的浆料中细小组分增加,在漂白过程中与化学药品反应更为充分,有机物质的溶出与降解也增多,提高构木的使

用量必然导致废液 COD 的上升. 这说明实际生产中加入构木且使用量越大, 废水的污染负荷越大, 处理成本也随之提高.

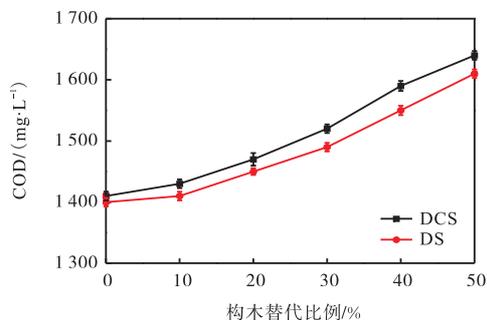


图6 不同构木替代比例下DCS与DS水样的COD

Fig. 6 COD value of DCS and DS in the tested water at different proportions of *Broussonetia papyrifera*

3 结论

(1) 构木木片与杨木木片混合进行漂白化学机械浆制浆时, 所得浆料纤维的重均长度与重均宽度减小, 纤维的粗度增大; 成浆的 ISO 白度从 73.8% 下降到 70.1%, 降幅为 4.5%, 松厚度从 2.83 cm³/g 下降到 2.32 cm³/g, 下降了 18%, 但抗张指数从 21.20 N·m/g 提高到 26.35 N·m/g. 从所得浆料性能变化上看, 混合木片所制成的浆料适宜于抄造对白度与松厚度要求不太高的纸种.

(2) 构木的加入使漂白过程中废水的污染负荷有所提高. DCS 水样的固含量从 1.38 g/L (相对于浆为 69 mg/g) 上升到 1.69 g/L (相对于浆为 84.5 mg/g), COD 从 1410 mg/L (相对于浆为 70.5 mg/g) 上升至 1640 mg/L (相对于浆为 82 mg/g). 另外, 阳离子需求量从 0.118 mmol/L (相对于浆为 5.9 μmol/g) 上升至 0.190 mmol/L (相对于浆为 9.5 μmol/g), 电导率从 627 μS/cm 提高到 942 μS/cm.

(3) 与杨木相比, 构木自身的一些缺陷会给生产过程、产品性能及废水性质带来一些负面影响, 因此, 实际应用中构木的使用比例不宜过大, 需权衡各方面的利弊来确定最适宜的使用比例.

参考文献:

- [1] 张秋玉, 李远发, 梁芳. 构树资源研究利用现状及其展望[J]. 南方农业学报, 2016, 40(2): 217-220.
- [2] 李欣, 孙文, 金政, 等. 燃煤电厂周边土壤重金属污染状况及绿化树种对重金属的积累特性[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2016, 34(4): 21-29.
- [3] 杨卫泽, 袁首乾, 廖声熙. 云南少数民族利用构树皮手工造纸现状调查[J]. 林业调查规划, 2015, 40(1): 78-81.
- [4] 廖声熙, 李昆, 杨振寅, 等. 不同年龄构树皮的纤维、化学特性与制浆性能研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 436-440.
- [5] 牛敏, 高慧, 张丽萍. 构树木质部的纤维形态、化学组成及制浆性能[J]. 经济林研究, 2007, 25(4): 45-49.
- [6] 何连芳, 白淑云, 刘秉钺. 不同树龄杂交构树的纤维特性及制浆性能研究[J]. 中国造纸学报, 2009, 24(1): 1-5.
- [7] Sundberg K, Thornton J, Pettersson C, et al. Calcium-induced aggregation of dissolved and colloidal substances in mechanical pulp suspensions[J]. Journal of Pulp and Paper Science, 1994, 20(11): 317-322.
- [8] Rundlof M, Sjolund A K, Strom H, et al. The effect of dissolved and colloidal substances released from TMP on the properties of TMP fines[J]. Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2000, 15(4): 256-265.
- [9] Sundberg K E, Holmbom B R, Pranovich A V. Chemical changes in thermomechanical pulp at alkaline conditions[J]. Journal of Wood Chemistry and Technology, 2003, 23(1): 89-112.
- [10] Pan G X. An insight into the behaviour of aspen CTMP in peroxide bleaching[J]. Pulp and Paper Canada, 2001, 102(11): 41-45.
- [11] Zhang X. Effects of white-water dissolved and colloidal fractions on paper properties and effects of various enzyme treatments on the removal of organic components[J]. Pulp & Paper Canada, 2000, 101(3): 59-62.
- [12] 苗庆显, 秦梦华, 侯庆喜, 等. 杨木 P-RC APMP 中溶解和胶体物质对湿部化学的影响[J]. 中国造纸学报, 2010, 25(3): 19-25.
- [13] 赵江鹏, 侯庆喜. 镁碱取代钠碱的杨木 P-RC APMP 高浓停留段工艺参数优化[J]. 中国造纸, 2011, 30(7): 1-6.
- [14] 尉慰奇, 侯庆喜, 武书彬. 镁碱对 P-RC APMP 纸张性能的影响[J]. 中国造纸, 2010, 29(7): 1-4.
- [15] 杨淑蕙. 植物纤维化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.
- [16] 徐薇, 侯庆喜, 许小龙, 等. MgO 部分取代 NaOH 用于杨木 CTMP 碱性 H₂O₂ 漂白的研究[J]. 纸和造纸, 2012, 31(4): 19-23.
- [17] Seth R S, Page D H. The problem of using Page's equa-

- [28] Scirè S, Minicò S, Crisafulli C. Pt catalysts supported on H-type zeolites for the catalytic combustion of chlorobenzene[J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2003, 45(2): 117–125.
- [29] Guo X L, Li J, Zhou R X. Catalytic performance of manganese doped CuO-CeO₂ catalysts for selective oxidation of CO in hydrogen-rich gas[J]. *Fuel*, 2016, 163: 56–64.
- [30] Liu Z G, Zhou R X, Zheng X M. Influence of preparation methods on CuO-CeO₂ catalysts in the preferential oxidation of CO in excess hydrogen[J]. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 2008, 17(2): 125–129.
- [31] Jia A P, Hu G S, Meng L, et al. CO oxidation over CuO/Ce_{1-x}Cu_xO_{2-δ} and Ce_{1-x}Cu_xO_{2-δ} catalysts: Synergetic effects and kinetic study[J]. *Journal of Catalysis*, 2012, 289: 199–209.
- [32] Tsoncheva T, Issa G, Blasco T, et al. Catalytic VOCs elimination over copper and cerium oxide modified mesoporous SBA-15 silica[J]. *Applied Catalysis A: General*, 2013, 453: 1–12.

责任编辑:周建军

(上接第 21 页)

- [14] He H, Liu X, Wang D, et al. SAHA inhibits the transcription initiation of HPV18 E6/E7 genes in HeLa cervical cancer cells[J]. *Gene*, 2014, 553(2): 98–104.
- [15] Wang G, Fu Y, Hu F, et al. Loss of BRG1 induces CRC cell senescence by regulating p53/p21 pathway[J]. *Cell Death & Disease*, 2017, 8(2): e2607.
- [16] Calcinotto A, Alimonti A. Aging tumour cells to cure cancer: “pro-senescence” therapy for cancer[J]. *Swiss Medical Weekly*, 2017, 147: w14367.
- [17] Lecot P, Alimirah F, Desprez P Y, et al. Context-dependent effects of cellular senescence in cancer development[J]. *British Journal of Cancer*, 2016, 114(11): 1180–1184.
- [18] Perez-Mancera P A, Young A R, Narita M. Inside and out: The activities of senescence in cancer[J]. *Nature Reviews Cancer*, 2014, 14(8): 547–558.
- [19] Ma L, Cong X, Shi M, et al. Distribution of human papillomavirus genotypes in cervical lesions[J]. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 2017, 13(2): 535–541.
- [20] Castle P E, Stoler M H, Wright T C, et al. Performance of carcinogenic human papillomavirus (HPV) testing and HPV16 or HPV18 genotyping for cervical cancer screening of women aged 25 years and older: A subanalysis of the ATHENA study[J]. *Lancet Oncology*, 2011, 12: 880–890.

责任编辑:郎婧

(上接第 32 页)

- tion to determine loss in shear strength of fiber-fiber bonds upon pulp drying[J]. *Tappi Journal*, 1996, 79(9): 206–210.
- [18] 陶劲松,刘焕彬,闫东波,等. 纤维间剪切结合强度的一种测量方法[J]. *中国造纸学报*, 2006, 21(4): 74–80.
- [19] 薛崇昀,贺文明,张睿玲. 人工种植构树的材性特点及制浆性能研究[J]. *中国造纸*, 2006, 25(9): 1–5.
- [20] Sundberg K E, Holmbom B R, Pranovich A V. Chemical changes in thermomechanical pulp at alkaline conditions[J]. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 2003, 23(1): 89–112.
- [21] 璩爱玉. 速生材制浆性能综合评估研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2008.
- [22] 徐宁攀,刘苇,侯庆喜,等. MgO 部分替代 NaOH 对杨木 CTMP 过氧化氢漂白的影 响[J]. *中国造纸*, 2015, 34(7): 6–12.

责任编辑:周建军